

УДК 629.017

КЛЕЦ Д.М., ХНАДУ

ВЛИЯНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБИЛЯ НА ЕГО УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОТИВ ЗАНОСА

Досліджено вплив аеродинамічних характеристик автомобіля на його стійкість проти заносу при русі в тяговому режимі за допомогою коефіцієнта стійкості. Визначено бічні й вертикальні реакції дороги на колесах передньої й задньої осей автомобіля. Отримано залежність коефіцієнта стійкості автомобіля від швидкості його руху.

Введение. Устойчивость рассматривается как свойство автомобиля обеспечивать заданное водителем направление движения, нарушаемое действием боковых сил. Улучшение устойчивости автомобиля способствует повышению безопасности движения. Под аэродинамической устойчивостью понимают устойчивость в таких случаях, когда внешние возмущающие силы вызваны воздействием на автомобиль воздушных потоков.

При наличии жестких в боковом направлении колес действие на автомобиль боковых сил не вызывает изменения направления движения до тех пор, пока их величина не превысит сил сцепления колес с дорогой. У автомобиля, колеса которого имеют пневматические шины, подверженные боковому уводу, даже небольшая по величине боковая сила может вызвать изменение параметров движения. Действие на автомобиль постоянных по величине и направлению сил может быть компенсировано соответствующим поворотом управляемых колес.

Аэродинамическая устойчивость относится к области активной безопасности автомобиля. Наиболее вероятным случаем нарушения аэродинамической устойчивости автомобиля может быть отклонение от направления движения, вызываемое при большой скорости внезапным изменением угла натекания воздушного потока, т.е. сменой направления ветра. Величина этого отклонения определяется: способностью шин автомобиля сопротивляться боковому уводу; аэродинамическими свойствами кузова; временем реакции водителя на изменение условий движения.

В работе [1] предложено использовать в качестве критерия устойчивости коэффициент устойчивости. С помощью указанного коэффициента в статье исследовалось влияния аэродинамических характеристик автомобиля на его устойчивость против заноса при движении в тяговом режиме.

Анализ последних достижений и публикаций. Исследованию аэродинамической устойчивости движения колесных машин посвящены работы [6, 7, 9]. Чувствительность автомобилей к боковому ветру представляет собой помеху системе «автомобиль-водитель», которая, ухудшая комфорт, может перерасти в угрозу безопасности движения. В настоящее время разработаны упрощенные методы оценки аэродинамической устойчивости, и для оценки водителя имеются лишь идеализированные модели, которые не воспроизводят его адаптивных свойств. Поэтому представляет интерес исследование и оценка аэродинамической устойчивости автомобилей.

Цель и постановка задач исследования. Целью исследования является определение влияния аэродинамических характеристик автомобиля на его

устойчивость против заноса при движении в тяговом режиме. Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить боковые и вертикальные реакции дороги на колесах передней и задней осей автомобиля;
- определить изменение коэффициента устойчивости автомобиля в зависимости от скорости его движения.

Определение боковых и вертикальных реакций дороги на колесах передней и задней осей автомобиля. При движении автомобиля в тяговом режиме на ведущих колесах возникают касательные реакции, направленные в сторону движения, а на ведомых колесах – в противоположную сторону. На ведущих колесах касательная реакция определяется разностью между тяговой силой и силой сопротивления качению P_{wx} и сопротивления качению ведомых колес (равных касательным реакциям на ведомых колесах). Если имеется запас по сцеплению на ведущих колесах, то возникает возможность создания избыточной тяговой силы, идущей на разгон автомобиля. На рис. 1 показаны силы, действующие на полноприводный автомобиль при движении в тяговом режиме.

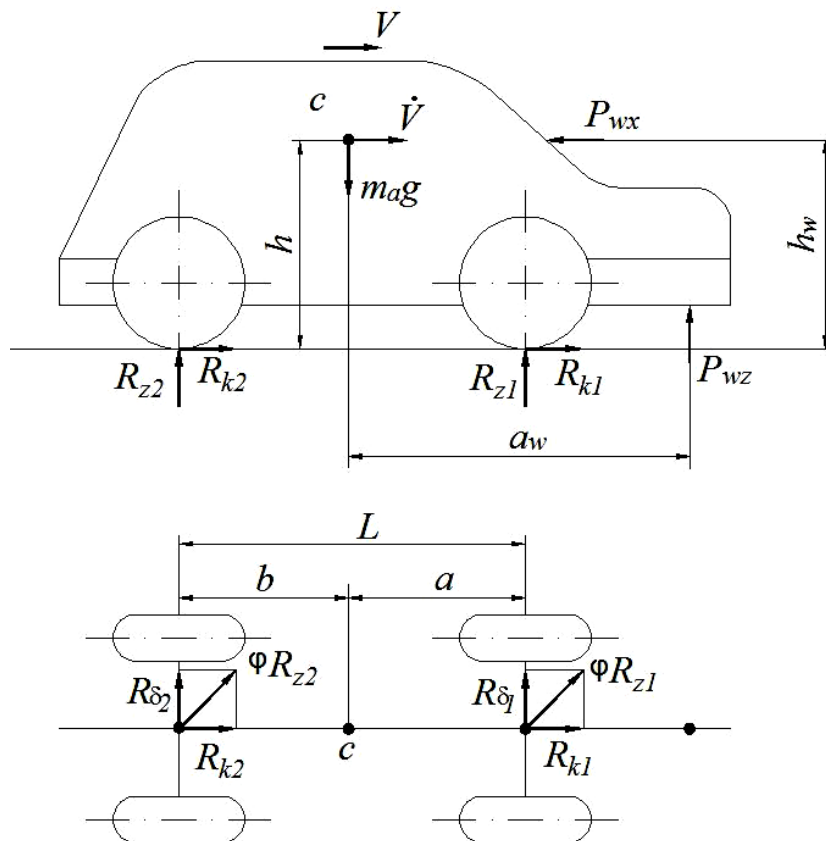


Рисунок 1 – Схема сил, действующих на полноприводный автомобиль при движении в тяговом режиме: L – продольная колесная база автомобиля; a , b – координаты проекции центра масс c автомобиля на горизонтальной плоскости; $R_{\delta 1}$, $R_{\delta 2}$ – боковые реакции дороги на колесах передней и задней осей; R_{z1} , R_{z2} – вертикальные реакции на колесах передней и задней осей; ϕ – коэффициент сцепления колес с дорогой; m_a – общая масса автомобиля; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; V – линейная скорость

автомобіля; \dot{V} – лінійне прискорення автомобіля; h – висота центра мас автомобіля; h_w – висота центра аеродинамічного тиску, $h_w \approx h$; P_{wx} і P_{wz} – відповідно сила лобового опору повітря і підйомна сила, діюча на автомобіль; a_w – відстань від проекції центра мас на горизонтальну площину до точки прикладання підйомної сили

Коефіцієнт стійкості автомобіля [1]

$$K_{уст} = \frac{b}{a} \cdot \frac{R_{\delta_2}}{R_{\delta_1}}. \quad (1)$$

Касательні реакції в контакті передніх і задніх колес з дорогою визначаються конструкцією трансмісії, т.е. розподілом загальної тягової сили між передніми і задніми колесами

$$R_{k_1} = K_R \cdot R_K; \quad (2)$$

$$R_{k_2} = (1 - K_R) \cdot R_K, \quad (3)$$

де R_{k_1}, R_{k_2} – касательні реакції на передніх і задніх колесах (відрізняються від відповідних тягових сил на величини сил опору каченню [2]);

K_R – коефіцієнт розподілу тягового моменту між мостами автомобіля,

R_K – сумарна касательна реакція на колесах автомобіля.

При $K_R = 1$, сумарна касательна реакція на ведучих колесах автомобіля визначається з умови

$$R_K = P_{wx} + m_a \cdot \dot{V} = (1 - K_{cy}) \cdot m_a \cdot g \cdot f + k_x \cdot F_x \cdot V^2 + m_a \cdot \dot{V}, \quad (4)$$

де K_{cy} – коефіцієнт використання сцепного ваги автомобіля в тяговому режимі руху (для повнопривідного автомобіля $K_{cy} = 1$).

Якщо прийняти за основу полярну трия при описанні сцепних властивостей колес, то бікові реакції дороги на осях можна визначити як

$$R_{\delta_1} = \sqrt{\varphi^2 \cdot R_{z_1}^2 - R_{k_1}^2} = \sqrt{\varphi^2 \cdot R_{z_1}^2 - K_R^2 \cdot R_K^2}; \quad (5)$$

$$R_{\delta_2} = \sqrt{\varphi^2 \cdot R_{z_2}^2 - R_{k_2}^2} = \sqrt{\varphi^2 \cdot R_{z_2}^2 - (1 - K_R)^2 \cdot R_K^2}. \quad (6)$$

Вертикальні реакції дороги на передній і задній осях автомобіля (см. рис. 1)

$$\begin{aligned}
 R_{z_1} &= m_a \cdot g \cdot \frac{b}{L} - P_{wx} \cdot \frac{h_w}{L} - \delta \cdot m_a \cdot \frac{dV}{dt} \cdot \frac{h}{L} - P_{wz} \cdot \frac{a_w + L}{L} = \\
 &= m_a \cdot g \cdot \frac{b}{L} - k_x \cdot F_x \cdot V^2 \cdot \frac{h_w}{L} - \delta \cdot m_a \cdot \frac{dV}{dt} \cdot \frac{h}{L} - k_z \cdot F_z \cdot V^2 \cdot \frac{a_w + L}{L};
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 R_{z_2} &= m_a \cdot g \cdot \frac{a}{L} + P_{wx} \cdot \frac{h_w}{L} + \delta \cdot m_a \cdot \frac{dV}{dt} \cdot \frac{h}{L} + P_{wz} \cdot \frac{a_w}{L} = \\
 &= m_a \cdot g \cdot \frac{a}{L} + k_x \cdot F_x \cdot V^2 \cdot \frac{h_w}{L} + \delta \cdot m_a \cdot \frac{dV}{dt} \cdot \frac{h}{L} + k_z \cdot F_z \cdot V^2 \cdot \frac{a_w}{L};
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

где $k_x \cdot F_x$ и $k_z \cdot F_z$ – фактор обтекаемости в вертикальной и горизонтальной плоскостях [3].

Определение изменения коэффициента устойчивости автомобиля в зависимости от скорости его движения. Подставляя выражения (5), (6) в (1), получим

$$K_{уст} = \frac{b}{a} \cdot \frac{\sqrt{\varphi^2 \cdot R_{z_2}^2 - (1 - K_R)^2 \cdot R_k^2}}{\sqrt{\varphi^2 \cdot R_{z_1}^2 - K_R^2 \cdot R_k^2}}.
 \tag{9}$$

На рис. 2 приведены графики $K_{уст}$ в зависимости от скорости движения V .

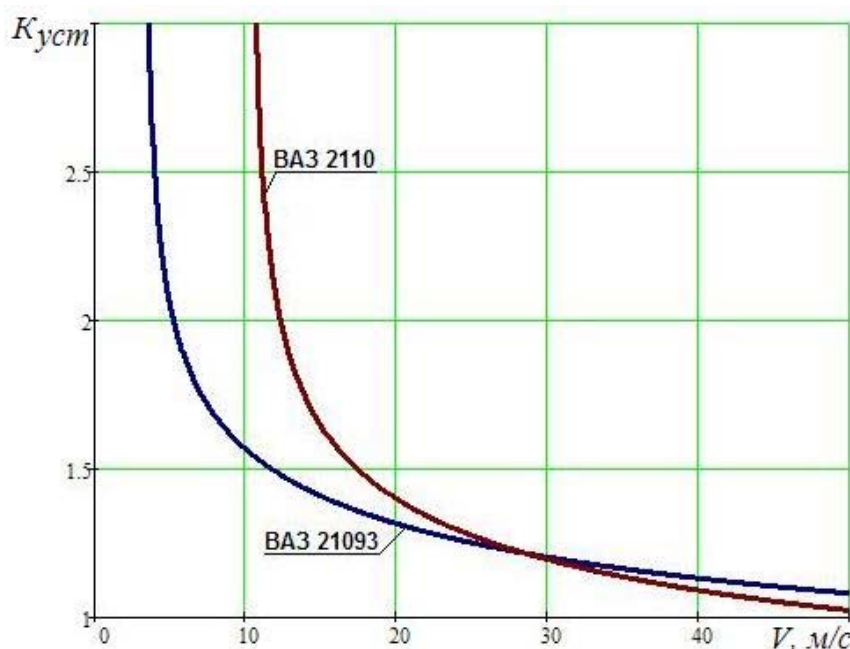


Рисунок 2 – Изменение коэффициента $K_{уст}$ от скорости движения V

Анализируя полученные графики, можно утверждать, что взятые в качестве примера автомобили ВАЗ при действии на них подъемной силы обладают устойчивостью против заноса в пределах их реальных скоростей движения. На курсовую устойчивость подъемная сила оказывает влияние лишь при скоростях движения выше

150 км/ч. При более низких скоростях она мала по сравнению с весом автомобиля и вызывает лишь небольшую разгрузку колес. Однако, при возникновении бокового ветра переменной силы и направления, неизбежность реагирования на него означает большее или меньшее ухудшение ездового комфорта; необходимость постоянной корректировки небольших отклонений от курса движения с помощью рулевого колеса и ощущается водителем весьма тягостно. В некоторых случаях из-за бокового ветра возникает непосредственная опасность для водителя и автомобиля. Этого необходимо избегать с помощью аэродинамически удачного формообразования.

Выводы

1. Разработанная методика позволяет выполнять оценку курсовой устойчивости автомобилей различной компоновки против заноса от действия подъемной силы в различных режимах движения.

2. На курсовую устойчивость подъемная сила оказывает влияние лишь при скоростях движения выше 150 км/ч. Тем не менее, они изменяют положение кузова автомобиля относительно дороги и тем самым несколько изменяют его лобовое сопротивление.

3. Прижимающая сила улучшает сцепление колес с дорогой, приемистость и торможение автомобиля, а также повышает его предельную скорость на поворотах. В то же время она снижает максимальную скорость, что на дорогах общего пользования не так существенно. Форма автомобиля должна обеспечивать рациональный компромисс между лобовым сопротивлением и прижимающей силой.

Список литературы: 1. *Подригало М.А., Клец Д.М.* Определение устойчивости автомобиля против заноса при движении в тяговом режиме // Вісник НТУ «ХП». – Вип. 12 «Автомобіле- та тракторобудування», 2007. – с. 127-136. 2. *Подригало М.А.* Качение автомобильного колеса и определение понятия тяговой силы // Автомобіле- та тракторобудування. Вісник НТУ «ХП», 2006. – №6, с. 92 – 93. 3. *Бортницкий П.И., Задорожный В.И.* Тягово-скоростные качества автомобилей. – К.: Вища школа, 1978. – 176 с. 4. Стабильность эксплуатационных свойств колесных машин / *Подригало М.А., Волков В.П., Карпенко В.А., Гецович Е.М., Бобошко А.А., Ефимчук В.М., Матырин А.Н.* / Под ред. М.А. Подригало. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2003. – 614с. 5. *Литвинов А.С.* Управляемость и устойчивость автомобиля. – М.: Машиностроение, 1971.– 416 с. 6. *Краснов Н.Ф.* Аэродинамика. – М.: Машиностроение, 1976. – 389 с. 7. *Бекман В.В.* Гоночные автомобили. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1980. – 320 с. 8. *Певзнер Я.М.* Теория устойчивости автомобиля. – М.: Машгиз, 1947. – 156 с. 9. Аэродинамика автомобиля / *Под ред. В.-Г. Гухо; Пер. с нем. Н.А. Юниковой; под ред. С.П. Загородникова.* – М.: Машиностроение, 1987. – 424 с.